

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI  
(c) 2004 Thomson Derwent. All rts. reserv.

012472828 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 1999-278936/ 199924

Loading aerosols with particles in nm size comprises charging by  
electrode ring

Patent Assignee: UNIV MINNESOTA (MINU )

Inventor: CHEN D; PUI D Y; PUI D Y H

Number of Countries: 002 Number of Patents: 002

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
-----------	------	------	-------------	------	------	------

DE 19846656	A1	19990429	DE 1046656	A	19981009	199924 B
-------------	----	----------	------------	---	----------	----------

US 5973904	A	19991026	US 97949154	A	19971010	199952
------------	---	----------	-------------	---	----------	--------

Priority Applications (No Type Date): US 97949154 A 19971010

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
-----------	------	--------	----------	--------------

DE 19846656	A1	18	B01F-003/04	
-------------	----	----	-------------	--

US 5973904	A		B05B-005/053	
------------	---	--	--------------	--

Abstract (Basic): DE 19846656 A1

NOVELTY - An aerosol (20) entering through an inlet tube (22) is charged by an electrode ring (48) to produce unipolar ions. A radioactive source (38) produces bipolar ions to enclose the unipolar stream which is then guided along the axis of the loading tube.

DETAILED DESCRIPTION - Alternatively unipolar ions are produced by corona discharge from an electrode (38). A number of sequential ring electrodes (46,47) are subjected to a ramped potential decreasing towards the exit of the aerosol (24) at an outlet tube (27), where the final ring is earthed. The field at the exit is arranged to be in the opposite sense the preceding field in order to concentrate the aerosol stream around the axis. The aerosol flows through a clean tube (52) that carries the electrode rings on the outside. The apparatus is particularly suitable for particles less than 20 nm in size.

USE - For loading an aerosol stream with particles in the nm range.

ADVANTAGE - Effective loading w.r.t. positioning and minimum loss of charged particles are obtained. All types of aerosols can be handled, particularly polystyrol, silver and biological material.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a schematic sectional arrangement of the apparatus.

Aerosol (20,24)

Inlet and outlet tubes (22,27)

Radioactive source or corona discharge electrode (38)

Ring electrodes (46,47)

Tube (52)

pp; 18 DwgNo 1/9

Derwent Class: J02; P42; X12; X25

International Patent Class (Main): B01F-003/04; B05B-005/053

International Patent Class (Additional): H01T-023/00



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

①2 **Offenlegungsschrift**  
①0 **DE 198 46 656 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**B 01 F 3/04**  
H 01 T 23/00

②1 Aktenzeichen: 198 46 656.0  
②2 Anmeldetag: 9. 10. 98  
②3 Offenlegungstag: 29. 4. 99

DE 198 46 656 A 1

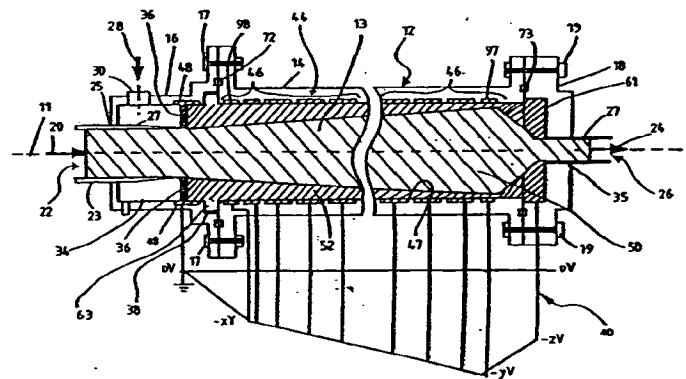
③0 Unionspriorität:  
949154 10. 10. 97 US  
⑦1 Anmelder:  
Regents of the University of Minnesota,  
Minneapolis, Minn., US  
⑦4 Vertreter:  
Vossius & Partner GbR, 81675 München

⑦2 Erfinder:  
Pui, David Y.H., Plymouth, Minn., US; Chen,  
Da-Ren, Lauderdale, Minn., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Teilchenladegerät und Verfahren zum Laden von Teilchen

⑤7 Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren zum Laden von Aerosolteilchen bereit, welches das Bereitstellen eines Ladegehäuses (12) mit einer Längsachse (11), die sich zwischen einem Einlaß (22) und einem Auslaß (26) des Ladegehäuses erstreckt aufweist, wobei ein Strom (20) von Aerosolteilchen parallel zur Längsachse vom Einlaß zum Auslaß strömt. Es wird innerhalb des Gehäuses ein parallel zur Längsachse verlaufendes eingeschlossenes elektrisches Feld erzeugt, um einen Strom unipolarer Ionen so zu lenken, daß er parallel zur Längsachse des Ladegehäuses zum Auslaß hin strömt, wobei dieser zum Laden des Stroms von Aerosolteilchen dient. Um den Verlust an geladenen Teilchen innerhalb des Ladegehäuses weiter zu verringern, kann zwischen dem Strom von Aerosolteilchen und dem Ladegehäuse eine saubere Hülle (52) erzeugt werden, kann in der Nähe des Auslasses des Ladegehäuses ein elektrisches Ausgangsfeld erzeugt werden, so daß geladene Teilchen zur Längsachse hin gedrängt werden, und/oder wird der Aerosolstrom in der Nähe des Auslasses des Ladegehäuses zusammengezogen, wodurch die geladenen Teilchen zur Längsachse hin gedrängt werden. Weiterhin wird ein Gerät (10) zum Ausführen des Verfahrens bereitgestellt.



DE 198 46 656 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft das unipolare Laden von Teilchen. Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere Geräte und Verfahren zum elektrischen Laden von Teilchen durch Kollisionen beispielsweise mit unipolaren Ionen.

Verschiedene Aerosol-Ladegeräte sind gegenwärtig verfügbar, um in der Luft befindliche Teilchen mit einer positiven oder negativen elektrischen Ladung zu versehen. Geladene Aerosolteilchen können in einem elektrischen Feld abgelenkt werden. Die elektrische Kraft auf Submikrometerteilchen kann mehr als eine Million mal größer sein als andere Kräfte, wie beispielsweise die Schwerkraft. Folglich ist das elektrische Laden von Aerosolteilchen, dem eine Manipulation durch ein elektrisches Feld folgt, eine beim Messen und beim Steuern von Submikrometerteilchen verwendete Haupttechnik.

Eine solche Messung und Steuerung von Submikrometerteilchen ist im Hinblick auf viele Anwendungen nützlich. Beispielsweise umfassen diese Anwendungen die Steuerung von Flugasche von Kraftwerken durch elektrostatische Abscheidung sowie das Messen von Größenverteilungen von Aerosolen. Weiterhin wurde die Aerosoltechnologie zur Synthese von neuen Materialien mit besonderem Interesse an der Herstellung äußerst kleiner Teilchen beispielsweise für Anwendungen in der Art eines photographischen Abbildens, von Magnetbändern, eines Filterns, sowie für elektrophoretische Anwendungen verwendet. Zur Entwicklung solcher Technologien sind Techniken erforderlich, um die Teilchengrößenverteilungen zu messen, die Teilchen in monodisperse Anteile einzuteilen und die Teilchen aus der Aerosolform zu gewinnen. Weiterhin sind bestimmte Verunreinigungen Hauptursachen für Ausbeuteverluste bei der Herstellung von Halbleiter-Bauelementen und insbesondere bei Submikrometerstrukturen. Teilchen, die kleiner sind als die Strukturen, müssen so gesteuert und gemessen werden, daß diese Verunreinigungsprobleme angegangen werden können. Das Prinzip des Ladens von Teilchen und des Manipulierens solcher Teilchen in einem elektrischen Feld wird bei der Entwicklung solcher Technologien sowie zum Erzielen von Lösungen zum Angehen solcher Probleme verwendet.

In der Luft befindliche Teilchen können durch verschiedene Verfahren geladen werden, die beispielsweise ein Laden unter Berührung (reibungselektrisches Laden), ein Sprühladen, ein photoelektrisches Laden oder ein Laden durch gasförmige Ionen umfassen. Das Laden durch gasförmige Ionen ist ein bevorzugtes Verfahren zum Laden von Aerosolen, weil dieses Laden durch gasförmige Ionen ein wiederholbarer Prozeß ist und weil es theoretisch vorhersagbar ist.

Das Laden durch gasförmige Ionen beinhaltet das Erzeugen gasförmiger Ionen einer Polarität (unipolarer gasförmiger Ionen) oder beider Polaritäten (bipolarer gasförmiger Ionen), und es wird den Ionen dabei gestattet, infolge ihrer zufälligen thermischen Bewegung mit Aerosolteilchen zu kollidieren. Mit anderen Worten ist das unipolare Laden das Laden von Teilchen in einem gasförmigen Medium, das Ionen einer Polarität enthält, und das bipolare Laden ist das Laden von Teilchen in einem gasförmigen Medium, das Ionen beider Polaritäten enthält.

Verschiedene Ladeeinrichtungen für unipolare Aerosole sind erhältlich und/oder wurden beschrieben. Eine gegenwärtig erhältliche Ladeeinrichtung ist die Ladeeinrichtung für unipolare Aerosole, die im "Electrical Aerosol Analyzer" verwendet wird, der unter der Handelsbezeichnung "TSI Model 3030" von TSI, Inc. (MN) erhältlich ist. Diese Ladeeinrichtung ist im Artikel "Unipolar Diffusion Char-

ging of Ultrafine Aerosols", Aerosol Science and Technology, 8: 173-187 (1988) von Pui u. a. beschrieben. Bei dieser Ladeeinrichtung werden Ionen in einem zum durch die Vorrichtung verlaufenden Aerosolteilchenstrom senkrechten Strom geführt. Wenn der Aerosolteilchenstrom durch den Strom unipolarer Ionen tritt, werden die Aerosolteilchen durch Kollisionen mit den unipolaren Ionen geladen. Der Ionenstrom wird mit einem zum Aerosolstrom senkrechten elektrischen Feld gelenkt.

Eine weitere ähnlich aufgebaute Teilchenladeeinrichtung mit einem zum Aerosolstrom senkrechten Ionenstrom ist in einem Artikel "Performance of a Unipolar "Square Wave" Diffusion Charger With Variable  $n \cdot t$ -Product", J. Aerosol. Sci., Band 25, Nr. 4, S. 651-663 (1994) von Buscher u. a. beschrieben. Bei dieser Ladeeinrichtung wird ein unter Verwendung einer Rechteckwellenspannung erzeugtes impulsförmiges elektrisches Feld in der ganzen Ladezone verwendet, um Teilchenverluste zu mildern.

Eine weitere Ladeeinrichtung ist in einem Artikel "Unipolar Diffusion Charging of Aerosol Particles at Low Pressure", Aerosol Science and Technology, 15, 60-68 (1991) von Romay u. a. beschrieben. Diese Ladeeinrichtung weist ein längliches Rohr auf, bei dem eine Spannung zwischen zwei metallische Abschirmelektroden gelegt ist. Eine der Abschirmungen ist an einem Aerosoleinlaß angeordnet, und die andere ist an einem Ausgang der Ladeeinrichtung angeordnet. Eine radioaktive Quelle ist in der Nähe des Einlasses angeordnet, so daß bipolare Ionen den Raum bei der Einlaßabschirmung ausfüllen und unipolare Ionen den Bereich zwischen der Quelle und der Ausgangs-Abschirmelektrode ausfüllen, wenn eine Spannung angelegt ist. Die den Bereich ausfüllenden unipolaren Ionen laden die Teilchen mit diesen durch die Ausgangsabschirmung austretenden geladenen Teilchen. Es wird im Ionen enthaltenden Bereich ein elektrisches Feld erzeugt, das elektrische Feld ist jedoch anders als bei den oben beschriebenen Ladeeinrichtungen nicht senkrecht zu den Ionen und lenkt sie nicht senkrecht zu dem durch die Ladeeinrichtung hindurchtretenden Aerosolstrom. Das elektrische Feld dieser Ladeeinrichtung umfaßt ein elektrisches Feld, das zur Wand der Ladeeinrichtung gerichtete Streufelder aufweist. Es wurden auch verschiedene andere Ladeeinrichtungen beschrieben. Beispielsweise ist eine andere unipolare Ladeeinrichtung im Artikel "A novel unipolar charger for ultrafine aerosol particles with minimal particle losses", J. Aerosol. Sci., Band 25, Nr. 4, S. 639-650 (1994) von Wiedensohler u. a. beschrieben.

Das Laden der Aerosolteilchen wird zunehmend schwieriger, wenn die Teilchengröße geringer wird, weil der Kollisionsquerschnitt der Teilchen in Bezug auf die mittlere freie Weglänge der Ionen klein wird. Im Bereich von Teilchen mit der Größe von Nanometern, also im Bereich zwischen 2 nm und 100 nm, weisen solche Nanometerteilchen selten mehr als einige Elementareinheiten an Ladung auf. Unterhalb von 10 nm ist ein zunehmender Anteil der Teilchen beispielsweise nicht geladen, also elektrisch neutral, wobei nur ein kleiner Anteil der Nanometerteilchen geladen ist. Weiterhin geht der kleine Anteil geladener Teilchen häufig infolge der hohen elektrischen Beweglichkeit solcher geladenen Nanometerteilchen in der Ladeeinrichtung verloren. Die gegenwärtig verfügbaren Ladeeinrichtungen oder die beschriebenen Ladeeinrichtungen sind nicht geeignet, um Submikrometerteilchen zu laden, und sie sind insbesondere nicht geeignet, um Nanometerteilchen zu laden. Solche Ladeeinrichtungen weisen unerwünscht hohe Verluste an geladenen Teilchen auf, was dazu führt, daß nur ein kleiner Teil der geladenen Teilchen aus der Ladeeinrichtung austreten kann.

Beispielsweise wird bei den meisten bestehenden Ladeeinrichtungen ein Ionenstrom senkrecht zum durch die La-

deinrichtung strömenden Aerosolteilchenstrom geführt. Die sich aus Kollisionen mit den Ionen im Ionenstrom ergebenden geladenen Teilchen werden in Richtung der Strömung des Ionenstroms abgelenkt. Diese Ablenkung führt zu einem beträchtlichen Verlust an geladenen Teilchen dadurch, daß die geladenen Teilchen abgelenkt und an Oberflächen der Ladeeinrichtung eingefangen werden.

Weiterhin bewirkt die Brownsche Diffusion, daß sich der Aerosolstrom ausbreitet, wenn er durch bestehende Ladeeinrichtungen hindurchtritt, wodurch weiter bewirkt wird, daß sich die geladenen Teilchen in dem Strom in engem Kontakt mit dem Aufbau der Ladeeinrichtung befinden. Der Kontakt mit diesem Aufbau der Ladeeinrichtung führt auch zu Verlusten an geladenen Teilchen.

Überdies weisen zahlreiche bestehende Ladeeinrichtungen Strukturen oder Hindernisse auf, die im Strömungsweg der geladenen Teilchen innerhalb des Geräts liegen, welche Verluste an geladenen Teilchen hervorrufen. Beispielsweise führt das Strömen von geladenen Teilchen durch Ladeeinrichtungen, wobei diese aus der Ladeeinrichtung austreten müssen, indem sie durch ein Hindernis, beispielsweise eine Abschirmelektrode an einem Auslaß der Ladeeinrichtung treten, wie oben beschrieben wurde, zu Verlusten an geladenen Teilchen.

Die Wichtigkeit geladener Teilchen, insbesondere von Nanometerteilchen, für technologische Anwendungen ist bekannt, wie oben beschrieben wurde. Beispielsweise weisen aus Nanometerteilchen bestehende nanostrukturierte Materialien häufig erheblich verbesserte mechanische, optische, elektrische bzw. magnetische Eigenschaften auf, die für hochentwickelte Anwendungen im Ingenieurwesen wünschenswert sind. Für zahlreiche dieser hochentwickelten Anwendungen, wie durchstimmbare Laser, ist das Aufbringen von Nanometerteilchen mit gleichmäßiger Größe in Schichten erforderlich. Die Anforderung der Gleichmäßigkeit ist ziemlich streng, und sie liegt häufig innerhalb von 5% der mittleren Größe. Die Teilchen können gleichmäßig gemacht werden, indem sie durch einen differentiellen Beweglichkeitsanalysator (DMA) geführt werden, der die in der Luft befindlichen Teilchen entsprechend der elektrischen Beweglichkeit der Teilchen in einem Kondensator klassifiziert. Ein schmaler Schlitz wird verwendet, um die Teilchen mit nahezu der gleichen Beweglichkeit zu entnehmen. Der DMA ist daher einem Bandpaßfilter mit einem schmalen Beweglichkeitsfenster gleichwertig. Durch Anschließen eines Teilchenzählers jenseits des DMAs kann das System verwendet werden, um Teilchengrößenverteilungen zu messen, die aus den Verteilungen der elektrischen Beweglichkeit abgeleitet werden können.

Die mit der DMA-Einteilung und der Messung von Teilchen und insbesondere von Nanometerteilchen verbundene Schwierigkeit besteht darin, daß nur ein kleiner Teil der in eine Ladeeinrichtung eingeführten Teilchen wirklich geladen wird und aus der Ladeeinrichtung austritt. Ein großer Teil der geladenen Teilchen geht typischerweise innerhalb der Ladeeinrichtung verloren, was zu einer geringen äußeren Wirksamkeit des Ladens führt.

Aus diesem und aus anderen Gründen besteht auf dem Fachgebiet ein Bedarf daran, eine Ladeeinrichtung mit einer hohen Ladewirksamkeit und einem geringen Verlust, also eine Ladeeinrichtung mit einem hohen Durchsatz, bereitzustellen, durch die die oben beschriebenen Nachteile überwunden werden. Die vorliegende Erfindung ist auf diesen Bedarf gerichtet und mildert die oben beschriebenen und andere Probleme, wie einem Fachmann beim Lesen der weiter unten gegebenen detaillierten Beschreibung verständlich wird.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde,

ein verbessertes Teilchenladegerät und ein verbessertes Verfahren zum Laden von Teilchen bereitzustellen. Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der Ansprüche gelöst.

Ein Verfahren zum unipolaren Laden von Aerosolteilchen gemäß der vorliegenden Erfindung umfaßt das Bereitstellen eines Ladegehäuses mit einer Längsachse, die sich zwischen einem Einlaß und einem Auslaß des Ladegehäuses erstreckt, wobei ein Strom von Aerosolteilchen parallel zur Längsachse vom Einlaß zum Auslaß strömt. Es wird ein eingeschlossenes elektrisches Feld innerhalb des Gehäuses erzeugt, das parallel zur Längsachse verläuft, um einen Strom unipolarer Ionen so zu lenken, daß er parallel zur Längsachse des Ladegehäuses zum Auslaß hin strömt, wobei dieser zum Laden des Stroms von Aerosolteilchen dient.

Bei einer Ausführungsform des Verfahrens wird eine saubere Hülle zwischen dem Strom von Aerosolteilchen und dem Ladegehäuse erzeugt. Bei einer anderen Ausführungsform des Verfahrens wird weiterhin in der Nähe des Auslasses des Ladegehäuses ein elektrisches Ausgangsfeld erzeugt. Das elektrische Ausgangsfeld verläuft im wesentlichen entgegengesetzt zum eingeschlossenen elektrischen Feld, so daß geladene Teilchen zur Längsachse hin gedrängt werden. Bei einer anderen Ausführungsform des Verfahrens wird das Ladegehäuse weiter so dimensioniert, daß der Aerosolstrom in der Nähe des Auslasses des Ladegehäuses zusammengezogen wird, so daß geladene Teilchen des Stroms zur Längsachse hin gedrängt werden.

Bei einem weiteren erfindungsgemäßen Verfahren wird ein Strom von Aerosolteilchen mit gleichmäßiger Größe in einem Ladegerät bereitgestellt. Die Teilchen mit gleichmäßiger Größe weisen einen mittleren Durchmesser im Bereich von mindestens etwa 3 Nanometer auf. Das Verfahren beinhaltet weiterhin das Bereitstellen eines Stroms unipolarer Ionen im Ladegerät, der zur Kollision mit dem Strom von Aerosolteilchen mit gleichmäßiger Größe vorgesehen ist. Der geladene Anteil des Stroms der aus der Ladegerät austretenden Aerosolteilchen mit gleichmäßiger Größe beträgt mindestens etwa 0,2.

Bei einer Ausführungsform des Verfahrens weist der Strom von Aerosolteilchen mit gleichmäßiger Größe einen mittleren Durchmesser von mindestens etwa 4 Nanometer auf, wobei der geladene Anteil des Stroms der aus dem Ladegerät austretenden Aerosolteilchen mit gleichmäßiger Größe mindestens etwa 0,4 beträgt.

Ein Aerosolteilchen-Ladegerät gemäß der vorliegenden Erfindung zum Laden eines Stroms von Aerosolteilchen weist ein längliches Ladegehäuse mit einer sich zwischen einem Einlaß und einem Auslaß, die darin ausgebildet sind, erstreckenden Längsachse auf. Der Einlaß dient zum Aufnehmen des Stroms von Aerosolteilchen, und der Auslaß dient dazu, es dem Strom von Aerosolteilchen zu ermöglichen, aus dem Ladegehäuse auszutreten. Das Gerät weist weiter eine Elektrodenkonfiguration auf, die innerhalb des Gehäuses parallel zur Längsachse ein eingeschlossenes gleichmäßiges elektrisches Feld erzeugen kann, das zum Lenken eines Stroms unipolarer Ionen dient, die parallel zur Längsachse des Ladegehäuses zum Auslaß hin strömen.

Bei einer Ausführungsform des Ladegeräts weist dieses weiter eine Anordnung zum Erzeugen einer sauberen Hülle zwischen dem Strom von Aerosolteilchen und dem Ladegehäuse auf. Bei einer anderen Ausführungsform des Ladegeräts weist dieses eine derartige Anordnung auf, daß der Strom von Aerosolteilchen in der Nähe des Auslasses des Ladegehäuses zusammengezogen wird, wodurch der Strom von Aerosolteilchen zur Längsachse der Ladevorrichtung hin gedrängt wird. Bei einer anderen Ausführungsform der Erfindung weist das Gerät weiter in der Nähe des Auslasses des Ladegehäuses eine Elektrode auf, die in der Lage ist, ein

elektrisches Ausgangsfeld zu erzeugen, das dem eingeschlossenen elektrischen Feld im wesentlichen entgegengerichtet ist, so daß geladene Teilchen des Stroms von Aerosolteilchen zur Längsachse hin gedrängt werden.

Weiterhin wird ein anderes Aerosolteilchen-Ladegerät zum Laden eines Stroms von Aerosolteilchen beschrieben. Das Gerät weist ein längliches Ladegehäuse mit einer sich zwischen einem Einlaß und einem Auslaß, die darin ausgebildet sind, erstreckenden Längsachse auf. Der Einlaß dient zum Aufnehmen des Stroms von Aerosolteilchen, und der Auslaß dient dazu, es dem Strom von Aerosolteilchen zu ermöglichen, aus dem Ladegehäuse auszutreten. Das Ladegerät beinhaltet weiter mehrere entlang der Längsachse angeordnete Koronaentladungselemente, um freie Elektronen und/oder Ionen in einer Ladezone bereitzustellen, die durch das Ladegehäuse festgelegt ist, sowie eine Elektrodenkonfiguration zum Erzeugen eines parallel zur Längsachse verlaufenden eingeschlossenen gleichmäßigen elektrischen Felds innerhalb des Gehäuses.

Die Erfindung wird nachstehend mit Bezug auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ist eine schematische Schnittansicht eines erfindungsgemäßen Teilchenladegeräts;

Fig. 2A, 2B und 2C sind Stirnansichten beziehungsweise eine Schnittansicht des Teilchenladegeräts aus Fig. 1, wobei der Schnitt durch eine der Elektroden vorgenommen ist, die zur Mitte des Teilchenladegeräts aus Fig. 1 hin angeordnet sind;

Fig. 3 ein Diagramm zur Darstellung des eingerichteten elektrischen Felds, wenn die Elektroden im Teilchenladegerät aus Fig. 1 in Betrieb sind;

Fig. 4 eine detailliertere Schnittansicht des erfindungsgemäßen Teilchenladegeräts aus Fig. 1;

Fig. 5 eine Schnittansicht einer alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Teilchenladegeräts aus Fig. 1;

Fig. 6 eine weitere Schnittansicht eines Abschnitts einer weiteren alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Teilchenladegeräts aus Fig. 1;

Fig. 7 ein Blockdiagramm einer Einrichtung zum Auswerten des Teilchenverlusts;

Fig. 8 eine graphische Darstellung von Daten, in der der geladene Anteil gegenüber dem Teilchendurchmesser gezeigt ist, der sich aus einer Auswertung mittels der Einrichtung aus Fig. 7 ergibt, in der die Vorteile der vorliegenden Erfindung gegenüber Ladegeräten nach dem aktuellen Stand der Technik dargestellt sind;

Fig. 9 eine graphische Darstellung der Teilchendurchdringung gegenüber dem Teilchendurchmesser bei Verwendung eines erfindungsgemäßen Teilchenladegeräts.

Die vorliegende Erfindung wird mit Bezug auf die Fig. 1-6 beschrieben. Danach werden die Ergebnisse bezüglich einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit Bezug auf die Fig. 7-9 beschrieben. Es wird für einen Fachmann verständlich sein, daß Elemente einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in Kombination mit Elementen von einer oder mehreren anderen Ausführungsformen verwendet werden können und daß die vorliegende Erfindung nicht auf die hier beschriebenen der Erläuterung dienenden speziellen Ausführungsformen beschränkt ist.

Die vorliegende Erfindung betrifft Geräte und Verfahren zum Laden von Aerosolteilchen. Wenngleich die vorliegende Erfindung beim Laden und Bereitstellen geladener Submikrometerteilchen (das heißt von Teilchen mit einem Nenndurchmesser von weniger als etwa 1 Mikrometer) vorteilhaft ist, sind die Vorteile für das Laden und Bereitstellen geladener Nanometerteilchen (das heißt von Teilchen mit einem Nenndurchmesser von weniger als etwa 100 Nanometer) sogar noch größer. Wie beim Lesen der folgenden Be-

schreibung verständlich wird, bietet die vorliegende Erfindung sogar noch größere Vorteile beim Laden und Bereitstellen geladener Nanometerteilchen mit einem Nenndurchmesser von weniger als etwa 20 Nanometer. Viele Typen von Teilchen können gemäß der vorliegenden Erfindung geladen werden (beispielsweise Polystyrol, Silber, biologisches Material usw.), und die vorliegende Erfindung ist nicht auf einen bestimmten Typ von Aerosolteilchen beschränkt.

Das Gerät 10 zum Laden unipolarer Teilchen gemäß der vorliegenden Erfindung wird allgemein mit Bezug auf die Fig. 1-3 beschrieben. Das Ladegerät 10 weist ein längliches Ladegehäuse 12 mit einer sich dadurch erstreckenden Längsachse 11 auf. Das Ladegehäuse 12 weist ein im wesentlichen rohrförmiges Gehäuseteil 14 auf, das entlang der Längsachse 11 verläuft, die wenigstens einen Abschnitt einer Ladezone oder eines Ladevolumens 13 festlegt. Das Ladegehäuse 12 weist weiterhin ein erstes ringförmiges Endteil 16 sowie ein zweites ringförmiges Endteil 18 auf. Das erste ringförmige Endteil 16 ist unter Verwendung von Befestigungselementen 17 und eines Dichtungselements 72 mit einem Ende des rohrförmigen Gehäuseteils 14 verbunden und gegenüber diesem abgedichtet, und das zweite ringförmige Endteil 18 ist mit Befestigungselementen 19 und Dichtungen 73 mit dem anderen Ende des rohrförmigen Gehäuseteils 14 verbunden. Es wird für einen Fachmann verständlich sein, daß irgendeine Art von Verbindungselementen beim Aufbau des Ladegehäuses verwendet werden kann und daß das Ladegehäuse aus einem einzigen Element oder einer anderen Anzahl von Elementen oder Teilen aufgebaut sein kann.

Weiterhin kann das Gehäuse 12 aus einer Anzahl nichtleitender Materialien, wie Plexiglas, Keramik usw., bestehen. Falls das Gehäuse aus einem Keramikmaterial besteht, kann die Ladeeinrichtung 10 vor den Ladeexperimenten ausgeheizt werden. Dieses Ausheizen ermöglicht es zusammen mit der Verwendung hochreiner Gase, daß Ionen bekannter Arten mit den Aerosolteilchen wechselwirken. Die Ergebnisse dieser Experimente können zum Testen bestehender Theorien zur Wirksamkeit des Ladens verwendet werden.

Ein Einlaß 22 ist im ersten Endteil 16 des Ladegehäuses 12 ausgebildet, um einen Strom 20 von Aerosolteilchen (beispielsweise neutrale Teilchen mit gleichmäßiger Größe) aufzunehmen, und ein Auslaß 26 ist im zweiten Endteil 18 des Ladegehäuses 12 ausgebildet, um den Austritt eines Stroms 24 von Aerosolteilchen zu ermöglichen. Das Ladegehäuse 12 bildet eine im wesentlichen hindernisfreie Ladezone, die sich vom Einlaß 22 bis zum Auslaß 26 erstreckt. Die Strömung von Aerosolteilchen 20 weist mit anderen Worten einen unbehinderten Weg entlang der Längsachse des Ladegeräts 10 auf. Es gibt beispielsweise keine Abschirmungen, Elektroden oder andere Hindernisse, die der Aerosolstrom durchlaufen müßte. Durch Bereitstellen eines hindernisfreien Wegs vom Einlaß bis zum Auslaß entlang der Längsachse wird die Möglichkeit eines Teilchenverlusts an solchen Hindernissen minimiert.

Der Einlaß 22 ist durch ein ringförmiges Einlaßteil 23 gebildet, das mit dem ersten Endteil 16 um die Längsachse 11 konzentrisch ist. Ein Abschnitt des ringförmigen Einlaßteils 23 erstreckt sich über die Öffnung 25 hinaus, die im ersten Endteil 16 gebildet ist, um einen Anschluß des Geräts 10 an Einrichtungen zu erleichtern, die den Strom 20 von Aerosolteilchen liefern. Ein Abschnitt 27 des ringförmigen Einlaßteils 23 erstreckt sich ins Innere des ersten Endteils 16, wodurch mit einem Abschnitt des ersten Endes 16 und einer ringförmigen Metallabschirmung 36 ein ringförmiger Hohlraum 34 gebildet ist. Der Hohlraum 34 dient dazu, Luft oder ein Gas 28 durch einen im ersten Ende 16 ausgebildeten Lufteinlaß 30 aufzunehmen. Der Abschnitt 27 des ringförmigen

migen Einlaßteils 23 verjüngt sich, um eine Bewegung der Luft oder des Gases 28 in den Hohlraum 34 hinein zur Metallabschirmung 36 hin (beispielsweise eine Abschirmung mit geringer Porosität, gesintertes Metall, perforiertes Metall oder dergleichen) zu fördern, so daß zwischen dem Strom von Aerosolteilchen 50 in der Ladezone 13 und dem Ladegehäuse 12 eine ringförmige Hülle 52 sauberer Luft bereitgestellt ist. Mit anderen Worten umgibt die ringförmige Lufthülle den Strom von Aerosolteilchen 50 in der Ladezone 13.

Ein Fachmann wird erkennen, daß sich der Strom von Aerosolteilchen 50 infolge der Brownschen Diffusion ausbreitet, wenn sich die Teilchen durch die Ladezone 13 bewegen. Die Aerosolteilchen nehmen von der Längsachse bis zum Ladegehäuse 12 in etwa eine Gaußsche Verteilung an. Durch die saubere Hülle 52, die den Strom 50 umgibt, wird der an der Innenfläche 47 des Ladegehäuses 12 auftretende Teilchenverlust minimiert. Die saubere Hülle 52 strömt parallel zur Längsachse 11 von der Metallabschirmung 36 zum Auslaß 26. Die saubere Hülle 52 kann unter Verwendung eines Inertgases (beispielsweise Stickstoff, Helium, Argon), teilchenfreier Luft oder dergleichen erzeugt werden. Die Hülle 52 sauberer Luft wird bereitgestellt, indem eine Strömung von Luft oder des Gases 28 bereitgestellt wird, die etwa das 2fache bis etwa das 5fache der Strömung des neutralen Aerosolstroms 20 in den Einlaß 22 hinein beträgt und die vorzugsweise etwa das 3fache der Strömung des Aerosolstroms 20 beträgt.

Der Auslaß 26 ist durch ein ringförmiges Auslaßteil 27 gebildet, das um die Längsachse 11 herum mit dem zweiten Endteil 18 konzentrisch ausgebildet ist. Ein Abschnitt des ringförmigen Auslaßteils 27 erstreckt sich über die Öffnung 35 des ersten Endteils 18 hinaus, um einen Anschluß des Geräts 10 an Einrichtungen zu erleichtern, denen der Strom 24 geladener Aerosolteilchen zugeführt wird. Das ringförmige Einlaßteil 23 und das ringförmige Auslaßteil 27 weisen eine solche Größe auf, daß ein abruptes Zusammenziehen des Aerosolstroms 50 in der Ladezone 13 in der Nähe des Auslasses 26 des Ladegehäuses 12 erzielt wird, so daß die geladenen Teilchen zur Längsachse 11 des Ladegeräts 10 hin oder mit anderen Worten zur Mitte des Auslasses 26 gedrängt werden, daß sie also austreten. Wie weiter unten beschrieben wird, wird eine ringförmige Elektrode 61 in der Nähe des Auslasses 26 des Ladegehäuses 12 verwendet, um ein elektrisches Ausgangsfeld zu erzeugen, das einem im Kernbereich der Ladezone um die Längsachse 11 herum erzeugten eingeschlossenen gleichmäßigen elektrischen Feld im wesentlichen entgegengerichtet ist, so daß geladene Teilchen des Stroms 50 von Aerosolteilchen in der Ladezone 13 zur Längsachse hin gedrängt werden, wenn sich diese Teilchen dem Auslaß 26 nähern. Durch diese beiden Techniken zum Drängen der geladenen Teilchen in die Mitte der Austrittsöffnung oder des Auslasses 26 wird der Verlust an geladenen Teilchen minimiert.

Die Kraft, die das Strömungsfeld zusammenzieht und die geladenen Teilchen zur Längsachse hin drängt (also zur Mitte des Auslasses 26 hin) wird durch Auswählen einer geeigneten Größe des Einlasses 22 und des Auslasses 26 erreicht. Der Durchmesser des Auslasses 26 liegt vorzugsweise etwa zwischen dem 0,3fachen und dem 0,7fachen des Durchmessers des Einlasses 22, und der Durchmesser des Auslasses 26 beträgt bevorzugt etwa das 0,5fache des Durchmessers des Einlasses 22.

Weiterhin ist die Größe des rohrförmigen Gehäuseteils 14 so ausgewählt, daß die Wirkungen der Brownschen Diffusion auf den Strom von Aerosolteilchen 50 in der Ladezone 13 minimiert sind. Die Größe des rohrförmigen Gehäuse- teils 14 ist mit anderen Worten so gewählt, daß die Ausbrei-

tung der Teilchen die Wand nicht erreicht und dadurch kein Teilchenverlust bewirkt wird. Der Durchmesser des rohrförmigen Gehäuseteils 14 liegt vorzugsweise etwa zwischen dem 1,5fachen und dem 3fachen des Durchmessers des Einlasses 22, und der Durchmesser des rohrförmigen Gehäuse- teils 14 beträgt bevorzugt etwa das 2fache des Durchmes- sers des Einlasses 22.

Das Gerät 10 weist weiterhin eine Ionenquelle 38 zum Bereit stellen eines Stroms unipolarer Ionen für die Lade- zone 13 auf. Bei dieser speziellen Ausführungsform ist die Ionenquelle 38 eine radioaktive Quelle, die verwendet wird, um bipolare Ionen in einem eingesenkten ringförmigen Schlitz 63 im rohrförmigen Gehäuse teil 14 zu erzeugen. Die radioaktive Quelle kann beispielsweise Polonium 210, Koh- lenstoff 14, Kr 85, Ni 63, Am 241 oder eine andere bekannte und geeignete radioaktive Quelle zum Bereitstellen bipolar- er Ionen sein.

Der eingesenkte ringförmige Schlitz 63 im rohrförmigen Gehäuse teil 14 ist in der Nähe des Einlasses 22 des Ladege- häuses 12 entlang der Innenfläche 47 des rohrförmigen Ge- häuseteils 14 angeordnet. Eine Ringelektrode 48 ist zwi- schen dem Einlaß 22 des Ladegehäuses 12 und der Ionen- quelle 38 angeordnet. Elektroden 46 und 48 werden verwen- det, um das eingeschlossene gleichmäßige elektrische Feld einzurichten, wie weiter unten beschrieben wird. Die Ring- elektrode 48 ist elektrisch mit der ringförmigen Metallab- schirmung 36 verbunden. Wenn die Elektrode 48, wie weiter unten beschrieben, geerdet ist und die Elektroden 46 in Be- trieb sind, bewirkt das eingeschlossene gleichmäßige elek- trische Feld, daß Ionen einer Polarität in einem im Vergleich zum restlichen Abschnitt der Ladezone 13 relativ kurzen Abschnitt von dieser zur Elektrode 48 beziehungsweise zur Abschirmung 36 hin gedrückt werden. Dieses Entfernen von Ionen einer Polarität ermöglicht es, einen Strom unipo- larer Ionen so zu lenken, daß er durch das eingeschlossene elektrische Feld in die Ladezone 13 strömt und mit dem par- allelen Strom von Aerosolteilchen kollidiert, der vom Ein- laß 22 zum Auslaß 26 strömt, wodurch Aerosolteilchen ge- laden werden.

Es wird für einen Fachmann verständlich sein, daß durch die angelegten negativen oder positiven Spannungen be- wirkt wird, daß die unipolaren Ionen in der Ladezone 13 ent- weder positiv oder negativ sind. Bei dieser speziellen Veran- schaulichung ist die angelegte Spannung  $-x$  Volt, und es werden dadurch der Ladezone 13 positive Ionen zugeführt. Es wird innerhalb des Schutzzumfangs der vorliegenden Er- findung in der ganzen hier gegebenen Beschreibung daran gedacht, die angelegten Spannungen umzukehren, wobei dies das Umkehren der rampenförmigen Natur dieser Span- nungen einschließt, um ein positives und ein negatives La- den der Teilchen zu erreichen. Die hier zur Veranschauli- chung verwendeten speziellen Spannungen sind nicht in un- zulässiger Weise als die vorliegende Erfindung einschrän- kend anzusehen.

Es wird für einen Fachmann verständlich sein, daß die Ionenquelle 38 eine Koronaentladungselektrode, beispiels- weise ein Ring von Nadeln oder ein Ring mit einer scharfen inneren Kante mit einer angelegten Spannung, sein kann. Die Verwendung einer Koronaentladungselektrode würde es ermöglichen, die Ladeeinrichtung ohne Verwendung einer radioaktiven Quelle zu betreiben.

Wie oben beschrieben wurde, wird der Ionenstrom bei vielen der existierenden/beschriebenen Ladeeinrichtungen senkrecht zum Strom von Aerosolteilchen geführt, um Kol- lisionen und damit das Laden von Teilchen zu ermöglichen. Beim Gerät 10 gemäß der vorliegenden Erfindung strömt der Strom von Aerosolteilchen 50 in der Ladezone parallel zum Ionenstrom und einem eingeschlossenen gleichmäßi-

gen elektrischen Feld in Strömungsrichtung entlang und parallel zur Längsachse 11 vom Einlaß 22 zum Auslaß 26. Hierdurch ist es bei der vorliegenden Ladeeinrichtung ermöglicht, daß Verluste, die herkömmlich infolge einer Ablenkung geladener Teilchen in Richtung des Ionenstroms auftreten, minimiert sind.

Im allgemeinen wird das eingeschlossene gleichmäßige elektrische Feld, das im wesentlichen parallel zur Strömung des Aerosolteilchenstroms und des Stroms unipolarer Ionen verläuft, unter Verwendung einer Laufzeitröhren-Elektrodenkonfiguration 44 erzeugt. Das eingeschlossene gleichmäßige elektrische Feld 70 ist in Fig. 3 allgemein dargestellt, wobei das Feld unter Verwendung isolierter Ringelektroden 46 und einer Ringelektrode 48, die entlang der Längsachse 11 verteilt angeordnet sind, eingerichtet wird. Die Ringelektroden sind vorzugsweise in gleichen Abständen zueinander angeordnet. Es kann zum Erzeugen des Felds eine geeignete Anzahl von Ringelektroden, vorzugsweise 5 oder mehr, verwendet werden. Spannungen, deren Pegel von der ersten Ringelektrode 97 bis zur letzten Ringelektrode 98 der entlang der Längsachse 11 liegenden Ringelektroden 46 rampenförmig geändert wird, werden durch eine oder mehrere Leistungsquellen, die allgemein durch den Bezugspfeil 40 angegeben sind, der die verschiedenen angelegten Spannungen angibt, an die Elektroden 46 angelegt. Wie in Fig. 1 dargestellt ist, ist an die erste Elektrode 97 der Ringelektroden 46 eine Spannung von  $-y$  Volt und an die letzte Elektrode der Ringelektroden 46 eine Spannung von  $-x$  Volt angelegt. An die Ringelektroden 46 zwischen der ersten und der letzten Elektrode werden rampenförmig Spannungen mit einem Pegel angelegt, der irgendwo zwischen  $-y$  Volt und  $-x$  Volt liegt.

Wenn Gleichspannungen angelegt sind, ermöglicht diese Laufzeitröhren-Elektrodenkonfiguration das Einrichten eines eingeschlossenen gleichmäßigen elektrischen Felds parallel zur Strömung der Aerosolteilchen und zum Strom unipolarer Ionen. Wenn Aerosolteilchen durch die unipolaren Ionen geladen werden, neigen die geladenen Teilchen dazu, sich schnell zum Auslaß 26 hin zu bewegen, und sie haben demgemäß im Vergleich zu denjenigen, die dichter beim Auslaß 26 geladen werden, eine verringerte Verweilzeit in der Ladezone.

Das eingeschlossene gleichmäßige elektrische Feld 70 ist als ein Feld definiert, das in einem Kernbereich 99 um die Längsachse 11 in der Ladezone 13 im wesentlichen gleichmäßig ist, wobei keine unkontrollierte Streuung des elektrischen Felds vom Kernbereich 99 zum Ladegehäuse 12 auftritt. Das eingeschlossene Feld 70 verläuft im wesentlichen parallel zur Längsachse 11 und zum Auslaß 26 hin. Eine gesteuerte Streuung zwischen den Ringelektroden ist in Fig. 3 durch eine Bezugszahl 77 dargestellt. Diese Streuung verläuft nicht vom Kernbereich 99 zum Ladegehäuse und ist unter Verwendung der Lufthülle gesteuert oder eingeschlossen. Beispielsweise kann die Größe der Lufthülle derart sein, daß sie die maximal mögliche Feldstreuung der Elektroden 46 einschließt, und die Breite der Lufthülle kann beispielsweise auf das zweifache der maximalen Strecke festgelegt sein, die sich die Streuung in den Ladebereich 13 hinein erstreckt. Diese Streuung tritt bei der weiter unten mit Bezug auf Fig. 5 beschriebenen Konfiguration einer zusammenhängenden Widerstandsschicht nicht auf.

In Fig. 1 ist weiterhin das Anlegen eines Spannungspiegels von  $-z$  Volt an die ringförmige Elektrode 61 dargestellt. Der Spannungspiegel von  $-z$  Volt ist weniger negativ als die Spannung von  $-y$  Volt, die an die erste Ringelektrode 97 der Ringelektroden 46 angelegt ist. Die Elektrode 61, an die diese Spannung angelegt ist, erzeugt ein in Fig. 3 dargestelltes elektrisches Ausgangsfeld 73, das im wesentlichen dem

elektrischen Feld 70 entgegengerichtet ist, oder das Feld in diesem Bereich ist mit anderen Worten zum eingeschlossenen elektrischen Feld 70 umgekehrt. Wie zuvor erwähnt wurde, drängt dieses Feld 73 durch die Strömung zusammenziehende Kräfte geladene Teilchen von der Elektrode weg und zur Längsachse 11 hin, so daß die geladenen Teilchen nicht an Gehäuseoberflächen am Ausgang des Geräts 10 verlorengehen. Ein elektrisches Feld, dessen Richtung derjenigen des eingeschlossenen elektrischen Felds im wesentlichen entgegengesetzt oder dieser entgegengesetzt ist, soll hier jedes elektrische Feld einschließen, das Kräfte auf ein Teilchen ausübt, um das Teilchen in eine andere Richtung zu bewegen als bei der Bewegung, die beim eingeschlossenen elektrischen Feld auftreten würde (bei Teilchen, die kleiner sind als Submikrometerteilchen), oder das die Bewegung verlangsamt, die unter den Kräften des eingeschlossenen elektrischen Felds (bei größeren Teilchen) auftritt, das Teilchen beispielsweise in umgekehrter Richtung, in einer im wesentlichen entgegengesetzten Richtung sowie vom Auslaß fort und nicht zum Auslaß hin bewegt und Teilchen verlangsamt, wenn sie sich dem Auslaß nähern, und dergleichen.

Das eingeschlossene elektrische Feld 70 kann auch unter Verwendung der in der Darstellung in Fig. 5 gezeigten alternativen Laufzeitröhren-Elektrodenkonfiguration eingerichtet werden. Wie dort gezeigt ist, sind die Ringelektroden durch einen Dickschichtwiderstand 202 mit gleichmäßiger Dicke auf einem Abschnitt der nichtleitenden Innenfläche 203 des Ladegehäuses 206 ersetzt. Die Widerstandsschicht 202 erstreckt sich von einem ersten Ende 204 zu einem zweiten Ende 205, das an die Metallabschirmung 210 angeschlossen und geerdet ist. Wenn eine Spannung an das erste Ende 204 der Widerstandsschicht 202 angelegt wird, ändert sich die Spannung entlang der Achsenrichtung zum zweiten Ende 205 hin, das elektrisch geerdet ist, rampenförmig (sie wird beispielsweise weniger negativ). Diese Elektrodenkonfiguration bildet auch ein eingeschlossenes gleichmäßiges elektrisches Feld, das zur Strömung von Aerosolteilchen und unipolaren Ionen parallel verläuft.

Eine spezielle Ausführungsform eines Ladegeräts gemäß der vorliegenden Erfindung, welche zum Erzielen der in dem weiter unten angegebenen Beispiel erreichten Ergebnisse verwendet wird, ist in Fig. 4 dargestellt. Diese Ausführungsform enthält mehr Einzelheiten bezüglich des in Fig. 1 dargestellten Geräts und verwendet dieselben Bezugszahlen, die in Fig. 1 zum Bezeichnen der gleichen oder ähnlicher Elemente verwendet werden. Das in Fig. 4 dargestellte Ladegerät 10 weist eine Ringelektrodenkonfiguration 44 in der Art der mit Bezug auf Fig. 1 beschriebenen auf. Bei dieser detaillierteren Darstellung des Geräts aus Fig. 1 werden die Spannungen unter Verwendung von zwei Leistungsquellen 102, 104 an die verschiedenen Elektroden angelegt. Die rampenförmige Spannung für die Ringelektroden 46 wird durch Anordnen von Widerständen 110 zwischen benachbarten Elektrodenringen 46 und eines Widerstands 108 zwischen der Ringelektrode 48 und der Ringelektrode 98 eingerichtet. Die Elektrode 48 ist geerdet. Es wird dann durch die Leistungsquelle 104 eine Spannung an die Ringelektrode 97 angelegt, wodurch die rampenförmigen Spannungen für die anderen Elektroden 46 eingerichtet werden. Es ist eine getrennte Leistungsquelle 102 vorgesehen, um die Spannung an die Elektrode 61 anzulegen und das durch die Ringelektrode 46 erzeugte elektrische Feld umzukehren. Ein Fachmann wird jedoch erkennen, daß jede beliebige Konfiguration verwendet werden kann, die ein Feld bereitstellt, das dem eingeschlossenen elektrischen Feld entgegengerichtet ist.

Eine bevorzugte Konfiguration für die Elektrode 61 ist in

Fig. 4 dargestellt. Die Elektrode ist eine Ringelektrode mit einem inneren Ringabschnitt 87 mit einem Innendurchmesser von 0,5 D und einem Außendurchmesser von 0,75 D. Der innere Ringabschnitt 87 ist mit einem äußeren Ringabschnitt 86 zusammenhängend ausgebildet, der einen Innendurchmesser von 0,75 D und einen Außendurchmesser von wenigstens 1,0 D aufweist. Der innere Ringabschnitt 87 weist eine zur Längsachse hin zeigende unter 45 Grad stehende Schnittfläche 89 auf. Die Dicke des Rings kann variieren und beispielsweise 0,5 D betragen.

Bei zu allen oben beschriebenen der Veranschaulichung dienenden Ausführungsformen alternativen Konfigurationen kann die Leistungsquelle zum Anlegen von Spannungen an die verschiedenen Elektroden durch Wechselspannungsquellen gegeben sein. Wenn Wechselspannungen angelegt werden, wird ein oszillierendes elektrisches Feld erzeugt, das bewirken kann, daß die geladenen Teilchen entlang der Achse der Ladeeinrichtung oszillieren. Hierdurch ist ermöglicht, daß alle geladenen Teilchen dieselbe Verweilzeit zum Laden annehmen, was bei den Teilchen zu einem gleichmäßigeren Ladeniveau führt.

Weiterhin kann ein Stromsensor 107 an einen Endelektrodenring 98 des in Fig. 4 dargestellten Geräts 10 angeschlossen sein. Der Stromsensor ermöglicht eine Messung von Ionenkonzentrationen  $N$ . Die Verweilzeit  $t$  ist der durchschnittliche Zeitraum, den die geladenen Teilchen in der Ladeeinrichtung bleiben und sie kann genau als  $V/(Q_a + Q_c)$  bestimmt werden, wobei  $V$  das Volumen des Ladegehäuses 12 ist und wobei  $Q_a$  und  $Q_c$  die Aerosolströmung beziehungsweise die Strömung sauberer Hüllluft ist. Das dann bekannte Produkt ( $Nt$ ) und das gemessene Ladeniveau können verwendet werden, um bestehende Theorien zu testen, wie diejenigen, die im Artikel von Fuchs mit dem Titel "On the stationary charge distribution on aerosol particles in a bipolar ionic atmosphere", Geodis: Pura. Appl., Band 56, S. 185-193 (1963) und im Artikel von Hoppel und Frick mit dem Titel "The nonequilibrium character of the aerosol charge distributions produced by neutralizer", Aerosol Sci. & Technol., Band 12, S. 471-496 (1990) beschrieben sind.

Bei der in Fig. 6 gezeigten alternativen Darstellung eines Abschnitts eines Ladegeräts 300 gemäß der vorliegenden Erfindung legt das Ladegehäuse 301 die Ladezone 303 fest. Koronaentladungsringe oder Koronaentladungsscheiben 302 mit einer geschärften Kante sind entlang dem Gehäuse 301 verteilt, um der Ladezone 303 freie Elektronen und/oder Ionen zuzuführen. Die freien Elektronen und/oder Ionen werden dann verwendet, um den Strom von Aerosolteilchen zu laden, der entlang der Längsachse 311 des Geräts 300 strömt. An die Koronaentladungsringe oder Koronaentladungsscheiben ist eine hohe Spannung angelegt (die negativ oder positiv ist). Mehrere perforierte oder poröse Metallplatten oder Abschirmungen 304 sind entlang des Gehäuses 301 zwischen den geschärften Kanten der Koronaentladungsscheiben und der Ladezone 303 verteilt. Die perforierten Platten 304 ermöglichen es, daß die Koronaentladung um die geschärfte Kante herum gebildet wird, wobei freie Elektronen und/oder Ionen in die Ladezone hineingezogen werden. Die perforierten Platten 304, an die rampenförmige Spannungen angelegt sind, erzeugen das hier zuvor mit Bezug auf andere Ausführungsformen beschriebene eingeschlossene elektrische Feld und stellen auch eine Referenzspannung bereit, die niedriger ist als die an die Koronaentladungselemente zur Erzeugung der Koronaentladung angelegte Hochspannung. Diese Ausführungsform sieht eine hohe Konzentration freier Elektronen entlang der ganzen Ladezone vor. Da die Beweglichkeit freier Elektronen sehr hoch ist, war es herkömmlich schwierig, diese freien Elektronen "am Leben" zu halten. Bei dieser Konfiguration von

entlang der Längsachse 311 verteilten Koronaentladungsscheiben wird eine hohe Konzentration freier Elektronen erzeugt und in der ganzen Ladezone 303 am Leben gehalten.

#### Beispiel

Ein in Fig. 4 dargestelltes Gerät 10 wurde verwendet, um für verschiedene Teilchen-Nennendurchmesser im Bereich zwischen 1 Nanometer und 100 Nanometer das Durchdringen von Teilchen und den geladenen Anteil von ihnen zu bestimmen. Die an die Leistungsquelle 104 angelegte Spannung betrug -1,5 Kilovolt, und die an die Leistungsquelle 102 angelegte Spannung betrug -1,45 Kilovolt. Die Widerstandswerte der Widerstände 110 betrugen 22 Megaohm, und der Widerstandswert des Widerstands 108 betrug 44 Megaohm. Die durch DMA klassifizierte Aerosolströmung 20 von Silberteilchen war als 1,5 Liter pro Minute festgelegt, und die Hüllen-Luftströmung 28 war als 4,5 Liter pro Minute festgelegt. Der Durchmesser (D) für den Einlaß betrug 20 Millimeter. Die Elektroden waren Elektroden aus rostfreiem Stahl, und das Gehäuse bestand aus Plexiglas. Die Ionenquelle 38 bestand aus vier Streifen (1,8 cm x 0,5 cm) aus Polonium 210 mit einer im ringförmigen Schlitz 63 verteilten Quellenstärke von 0,5 mCi.

Der Testaufbau 400 mit der oben beschriebenen unipolaren Ladeeinrichtung 10 wies weiterhin einen elektrostatischen Kondensator 406 zum Entfernen geladener Teilchen aus der Konzentration von Teilchen  $N_{AUS}$  auf, was zu einer Konzentration  $N_{neutral}$  führt. Sowohl die Teilchenströmung mit einer Konzentration  $N_{EIN}$  als auch die Strömung mit einer Konzentration  $N_{neutral}$  werden mit einem Teilchenzähler (TSI 3025A, der von TSI, Inc. erhältlich ist) gezählt. Ein Ventil 404 bietet einen Auslaß für überschüssiges Aerosol im Aufbau, wenn dies erwünscht ist.

Die Teilchendurchdringung für neutrale Teilchen gleichmäßiger Größe und für einfach geladene Teilchen gleichmäßiger Größe, die in Fig. 9 für verschiedene Teilchendurchmesser dargestellt ist, wird nach Teilchendurchmesser =  $N_{AUS}/N_{EIN}$  bestimmt. Um die in den graphischen Darstellungen dargestellten Ergebnisse zu erhalten, wird die radioaktive Quelle entfernt, und neutrale Teilchen gleichmäßiger Größe mit einem bekannten mittleren Durchmesser werden in die Ladeeinrichtung 10 eingeführt, wobei alle Spannungen aus- oder eingeschaltet sind. Die Werte  $N_{AUS}$  und  $N_{EIN}$  für Teilchen dieses Durchmessers wurden durch den Teilchenzähler 408 gemessen, und es wurde die Teilchendurchdringung berechnet. Ebenso wurde dies für in die Ladeeinrichtung eingeführte einfach geladene Teilchen ausgeführt, wobei alle Spannungen eingeschaltet waren.

Der in Fig. 9 für verschiedene Teilchendurchmesser dargestellte geladene Anteil wird nach geladener Anteil =  $1 - N_{neutral}/N_{EIN}$  bestimmt. Um die in den graphischen Darstellungen gezeigten Ergebnisse zu erhalten, wurden neutrale Silberteilchen mit gleichmäßiger Größe und einem bekannten mittleren Durchmesser in die Ladeeinrichtung 10 eingeführt, wobei die Spannungen eingeschaltet waren.  $N_{EIN}$  (das heißt die Anzahl der neutralen Teilchen vor dem Eintreten in die Ladeeinrichtung, wobei diese eingeschaltet war) für Teilchen mit einem bestimmten mittleren Durchmesser wurden durch den Teilchenzähler 408 gemessen. Danach wird  $N_{neutral}$  (die Anzahl der neutralen Teilchen, nachdem der elektrostatische Kondensator 406 die geladenen Teilchen entfernt hat) bei eingeschalteter Ladespannung gemessen. Der geladene Anteil wird dann unter Verwendung dieser Zahlen berechnet.

Wie in der graphischen Darstellung aus Fig. 9 gezeigt ist, ist die Teilchendurchdringung eines Stroms neutraler Teilchen oder von einfach geladenen Teilchen mit einem Nenn-

durchmesser von lediglich etwa 2 Nanometer, welche durch das Ladegerät 10 strömen, größer als 60 Prozent. Dies weist darauf hin, daß beim Ladegerät 10 nur geringe Verluste für ungeladene Teilchen oder einfach geladene Teilchen auftreten, wobei diese Verluste für Nanometerteilchen mit einem Durchmesser von lediglich 2 Nanometer weniger als 40 Prozent betragen.

Wie in der graphischen Darstellung aus Fig. 8 gezeigt ist, ist der Anteil aus dem Ladegerät austretender geladener Teilchen für einen Strom geladener Teilchen eines Nenn-durchmessers von lediglich etwa 3 Nanometer größer als etwa 0,2. Es ist weiterhin dargestellt, daß aus dem Ladegerät 10 austretende Teilchen mit einem Nenndurchmesser von lediglich etwa 4 Nanometer einen geladenen Anteil aufweisen, der größer als etwa 0,4 ist, während der geladene Anteil für Teilchen mit einem Nenndurchmesser von lediglich etwa 20 Nanometer größer als etwa 0,8 ist. Die Ergebnisse umfassen Daten, die darauf beruhen, daß die Ladeeinrichtung 10 mit positiven und negativen Ionen betrieben wird (also unter Verwendung des Anlegens sowohl positiver als auch negativer Spannungen) Wie in Fig. 8 dargestellt ist, sind für ein bipolares Ladegerät und ein in "Performance of a Unipolar Square Wave" Diffusion Charger With Variable nt-Product", J. Aerosol. Sci., Band 25, Nr. 4, S. 651-663 (1994) von Buscher und anderen beschriebenes Gerät geladene Anteile für Teilchen mit verschiedenen Durchmessern angegeben. Wie durch die Vergleichsdaten gezeigt wurde, ist die Ladewirksamkeit des vorliegenden Ladegeräts etwa 10 bis 100 mal höher als beim besten verfügbaren Ladegerät im Bereich von Nenndurchmessern unterhalb von 10 nm.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum unipolaren Laden von Aerosolteilchen mit den Schritten:  
Bereitstellen eines Ladegehäuses (12) mit einer Längsachse (11), die sich zwischen einem Einlaß (22) und einem Auslaß (26) des Ladegehäuses erstreckt, wobei ein Strom (20, 24) von Aerosolteilchen (50) parallel zur Längsachse vom Einlaß zum Auslaß strömt, und Erzeugen eines parallel zur Längsachse (11) verlaufenden eingeschlossenen elektrischen Felds (70) innerhalb des Gehäuses zum Lenken eines Stroms unipolarer Ionen, so daß er parallel zur Längsachse (11) des Ladegehäuses (12) zum Auslaß hin strömt, wobei dieser zum Laden des Stroms von Aerosolteilchen dient.
2. Verfahren nach Anspruch 1, welches weiter das Erzeugen einer sauberen Hülle (52) zwischen dem Strom von Aerosolteilchen und dem Ladegehäuse aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Schritt des Erzeugens des eingeschlossenen gleichmäßigen elektrischen Felds (70) innerhalb des Gehäuses die folgenden Schritte aufweist:  
Positionieren mehrerer Ringelektroden (46, 48, 97, 98) entlang der Längsachse und  
Anlegen mehrerer Spannungen, deren Pegel sich von einer ersten Ringelektrode zu einer letzten Ringelektrode der mehreren entlang der Längsachse verlaufenden Ringelektroden rampenförmig ändert.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Schritt des Anlegens der mehreren Spannungen die folgenden Schritte aufweist:  
Schalten eines Widerstands (108, 110) zwischen benachbarte der mehreren Ringe,  
Anlegen einer Spannung an die erste Ringelektrode und Erden der letzten Ringelektrode.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Ladegehäuse einen nichtleitenden rohrförmigen

Abschnitt (14) mit einer Innenfläche aufweist und bei welchem der Schritt des Erzeugens des eingeschlossenen gleichmäßigen elektrischen Felds (70) innerhalb des Gehäuses weiter die folgenden Schritte aufweist:  
Bereitstellen einer Schicht (202) aus widerstandsbehaftetem Material mit einem ersten und einem zweiten Ende (204, 205), die sich entlang einer Länge der Innenfläche des nichtleitenden rohrförmigen Abschnitts erstreckt.

Anlegen einer Spannung an das erste Ende (204) und Erden des zweiten Endes (205).

6. Verfahren nach Anspruch 3 oder 5, wobei die Spannung eine Gleichspannung ist.

7. Verfahren nach Anspruch 3 oder 5, wobei die Spannung eine Wechselspannung ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Strom unipolarer Ionen durch Anordnen einer radioaktiven Quelle (38) in der Nähe des Einlasses des Ladegehäuses zur Erzeugung bipolarer Ionen bereitgestellt wird, wobei das eingeschlossene elektrische Feld Ionen einer Polarität zum Einlaß hin drängt und ermöglicht, daß der Strom unipolarer Ionen in einer Strömung parallel zur Längsachse des Ladegehäuses zum Auslaß hin gelenkt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Strom unipolarer Ionen durch eine oder mehrere Koronaentladungselektroden mit einer daran angelegten Spannung bereitgestellt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, welches weiter den Schritt des Erzeugens eines elektrischen Auslaßfelds (73) in der Nähe des Auslasses des Ladegehäuses (12) aufweist, wobei das elektrische Auslaßfeld (73) dem eingeschlossenen elektrischen Feld (70) im wesentlichen entgegengerichtet ist, so daß geladene Teilchen zur Längsachse hin gedrängt werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, ferner mit dem Schritt des Dimensionierens des Ladegehäuses, so daß der Aerosolstrom in der Nähe des Auslasses des Ladegehäuses so zusammengezogen wird, daß geladene Teilchen des Stroms zur Längsachse hin gedrängt werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei das Ladegehäuse einen von Hindernissen freien offenen Raum bildet, der sich vom Einlaß bis zum Auslaß erstreckt.

13. Verfahren zum Laden von Aerosolteilchen, mit den Schritten:

Bereitstellen eines Stroms von Aerosolteilchen (50) mit gleichmäßiger Größe in einem Ladegerät (12), wobei die Teilchen mit gleichmäßiger Größe einen mittleren Durchmesser im Bereich von etwa 3 Nanometer oder darüber aufweisen, und

Bereitstellen eines Stroms unipolarer Teilchen im Ladegerät (12) zur Kollision mit dem Strom von Aerosolteilchen mit gleichmäßiger Größe, wobei der geladene Anteil des aus dem Ladegerät austretenden Stroms von Aerosolteilchen mit gleichmäßiger Größe mindestens etwa 0,2 beträgt.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei der Strom von Aerosolteilchen (50) mit gleichmäßiger Größe einen mittleren Durchmesser im Bereich von 4 Nanometer oder darüber aufweist und wobei der geladene Anteil des Stroms (24) von aus dem Ladegerät (12) austretenden Aerosolteilchen mit gleichmäßiger Größe mindestens etwa 0,4 beträgt.

15. Aerosolteilchen-Ladegerät zum Laden eines Stroms von Aerosolteilchen, mit:

einem länglichen Ladegehäuse (12) mit einer Längsachse (11), die sich zwischen einem Einlaß (22) und einem Auslaß (26) erstreckt, die darin ausgebildet sind, wobei der Einlaß zum Aufnehmen des Stroms (20) von Aerosolteilchen (50) dient und wobei der Auslaß dazu dient, das Austreten des Stroms (24) von Aerosolteilchen aus dem Ladegehäuse (12) zu ermöglichen, und einer Elektrodenkonfiguration (44), die so arbeiten kann, daß sie ein innerhalb des Gehäuses (12) parallel zur Längsachse (11) verlaufendes eingeschlossenes gleichmäßiges elektrisches Feld (70) erzeugt, das zum derartigen Lenken eines Stroms unipolarer Ionen dient, daß dieser parallel zur Längsachse des Ladegehäuses zum Auslaß hin strömt.

16. Gerät nach Anspruch 15, ferner mit einer Einrichtung zum Erzeugen einer sauberen Hülle (52) zwischen dem Strom von Aerosolteilchen und dem Ladegehäuse.

17. Gerät nach Anspruch 15 oder 16, wobei das längliche Ladegehäuse (12) ein ringförmiges Gehäuse (14) mit einem Einlaßende und einem Auslaßende aufweist, wobei sich die Längsachse (11) dadurch erstreckt, und wobei das Gerät weiter ein ringförmiges Einlaßteil (23) am Einlaßende des ringförmigen Gehäuses aufweist, das so dimensioniert ist, daß der Strom von Aerosolteilchen einer im ringförmigen Gehäuse gebildeten Ladezone (13) zugeführt wird, wobei das Gerät weiter einen zwischen dem ringförmigen Gehäuse und dem ringförmigen Einlaßteil (23) gebildeten Gaseinlaß-Hohlraum (34) aufweist, um ein Gas (28) aufzunehmen und das Gas zwischen dem parallel zur Längsachse des ringförmigen Gehäuses strömenden Aerosolteilchenstrom zu leiten.

18. Gerät nach Anspruch 15, 16 oder 17, wobei die Elektrodenkonfiguration (44) aufweist: mehrere entlang der Längsachse (11) angeordnete Ringelektroden (46, 48, 97, 98) und eine oder mehrere Leistungsquellen (40, 102, 104) zum Anlegen mehrerer Spannungen, deren Pegel sich von einer ersten Ringelektrode zu einer letzten Ringelektrode der mehreren entlang der Längsachse verlaufenden Ringelektroden rampenförmig ändert.

19. Gerät nach Anspruch 18, wobei benachbarte der mehreren Ringe über einen sich dazwischen befindenden Widerstand (108, 110) elektrisch miteinander verbunden sind und wobei die eine oder die mehreren Leistungsquellen (40, 102, 104) angeschlossen sind, um eine Spannung an die erste Ringelektrode anzulegen, wobei die letzte Ringelektrode geerdet ist.

20. Gerät nach Anspruch 18 oder 19, bei welchem die Leistungsquellen (40, 102, 104) Gleichspannungsquellen sind.

21. Gerät nach Anspruch 18 oder 19, bei welchem die Leistungsquellen (40, 102, 104) Wechselspannungsquellen sind.

22. Gerät nach einem der Ansprüche 15 bis 21, wobei das längliche Ladegehäuse einen nichtleitenden Rohrabschnitt mit einer Innenfläche (47) aufweist und wobei die Elektrodenkonfiguration (44) weiter eine Schicht (202) aus widerstandsbehaftetem Material mit einem ersten und einem zweiten Ende (204, 205) aufweist, die entlang einer Länge der Innenfläche (203) des nichtleitenden Rohrabschnitts verläuft, wobei die eine oder mehreren Leistungsquellen angeschlossen sind, um eine Spannung an das erste Ende anzulegen, wobei das zweite Ende geerdet ist.

23. Gerät nach einem der Ansprüche 15 bis 22, ferner mit einer Ionenquelle (38), die in der Nähe des Einlasses des Ladegehäuses entlang einer Innenfläche von

diesem angeordnet ist, um bipolare Ionen zu erzeugen, wobei eine Elektrode (48) zwischen dem Einlaß (22) des Ladegehäuses und der Ionenquelle (38) derart angeordnet ist, daß das eingeschlossene elektrische Feld Ionen einer Polarität zur Elektrode hin drückt, wodurch ermöglicht ist, daß der Strom unipolarer Ionen so gelenkt wird, daß er parallel zur Längsachse (11) des Ladegehäuses strömt.

24. Gerät nach einem der Ansprüche 15 bis 23, ferner mit einer oder mehreren Koronaentladungselektroden zum Bereitstellen des Stroms unipolarer Ionen.

25. Gerät nach einem der Ansprüche 15 bis 24, wobei das längliche Ladegehäuse ein ringförmiges Gehäuse mit einem Einlaßende und einem Auslaßende aufweist, wobei sich die Längsachse (11) dadurch erstreckt, und wobei das Gerät weiter ein ringförmiges Einlaßteil (23) am Einlaßende und ein ringförmiges Auslaßteil (27) am Auslaßende aufweist, wobei der Durchmesser des ringförmigen Auslaßteils (27) geringer ist als der Durchmesser des ringförmigen Einlaßteils (23), so daß der Strom von Aerosolteilchen in der Nähe des Auslasses des Ladegehäuses zusammengezogen und dadurch zur Längsachse der Ladevorrichtung hin gedrängt wird.

26. Gerät nach einem der Ansprüche 15 bis 25, welches weiter in der Nähe des Auslasses des Ladegehäuses eine Elektrode (61) aufweist, die in der Lage ist, ein elektrisches Auslaßfeld (73) zu erzeugen, das dem eingeschlossenen elektrischen Feld (70) im wesentlichen entgegengerichtet ist, so daß geladene Teilchen des Stroms von Aerosolteilchen zur Längsachse hin gedrängt werden.

27. Gerät nach einem der Ansprüche 15 bis 26, wobei das Ladegehäuse eine im wesentlichen hindernisfreie Ladezone (13) festlegt, die sich vom Einlaß bis zum Auslaß erstreckt.

28. Aerosolteilchen-Ladegerät zum Laden eines Stroms von Aerosolteilchen, mit:

einem länglichen Ladegehäuse (301) mit einer Längsachse (311), die sich zwischen einem Einlaß und einem Auslaß erstreckt, die darin ausgebildet sind, wobei der Einlaß zum Aufnehmen des Stroms von Aerosolteilchen dient und wobei der Auslaß dazu dient, das Austreten des Stroms von Aerosolteilchen aus dem Ladegehäuse zu ermöglichen, mehreren entlang der Längsachse angeordnete Koronaentladungselementen (302) zum Bereitstellen freier Elektronen/Ionen in einer durch das Ladegehäuse festgelegten Ladezone (303) und einer Elektrodenkonfiguration, die dazu in der Lage ist, innerhalb des Gehäuses ein parallel zur Längsachse verlaufendes eingeschlossenes gleichmäßiges elektrisches Feld zu erzeugen.

29. Gerät nach Anspruch 28, bei welchem die Koronaentladungselemente mehrere Scheibenelemente (302) mit geschärften Kanten aufweisen und bei welchem die Elektrodenkonfiguration mehrere Abschirmelemente (304) aufweist, die zwischen der geschärften Kante der Koronaentladungselemente (302) und der Ladezone (303) angeordnet sind.

---

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

---

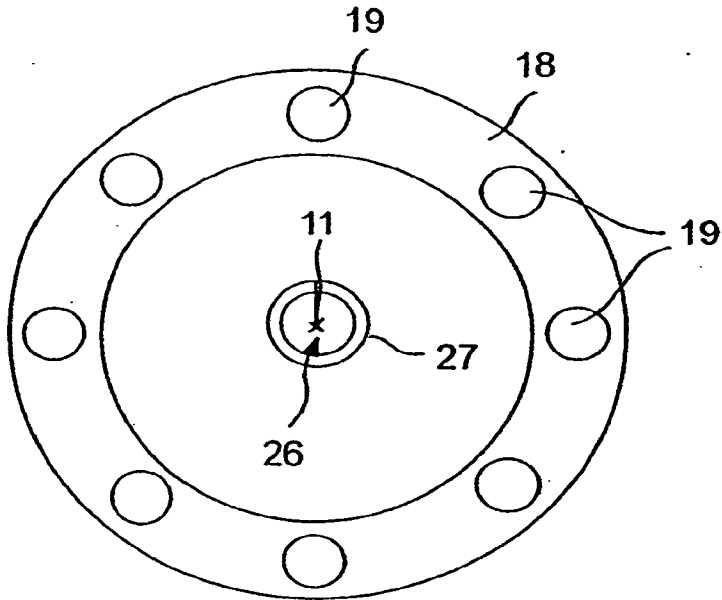


Fig. 2A

Fig. 2B

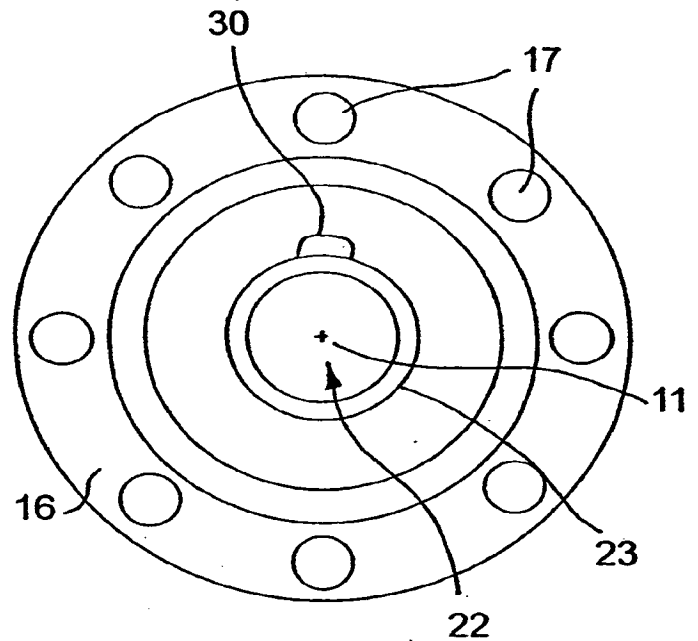


Fig. 2C

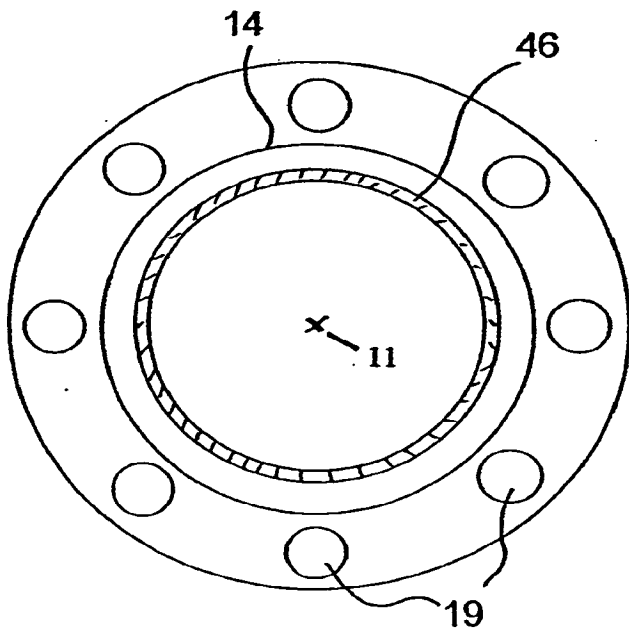


Fig. 3

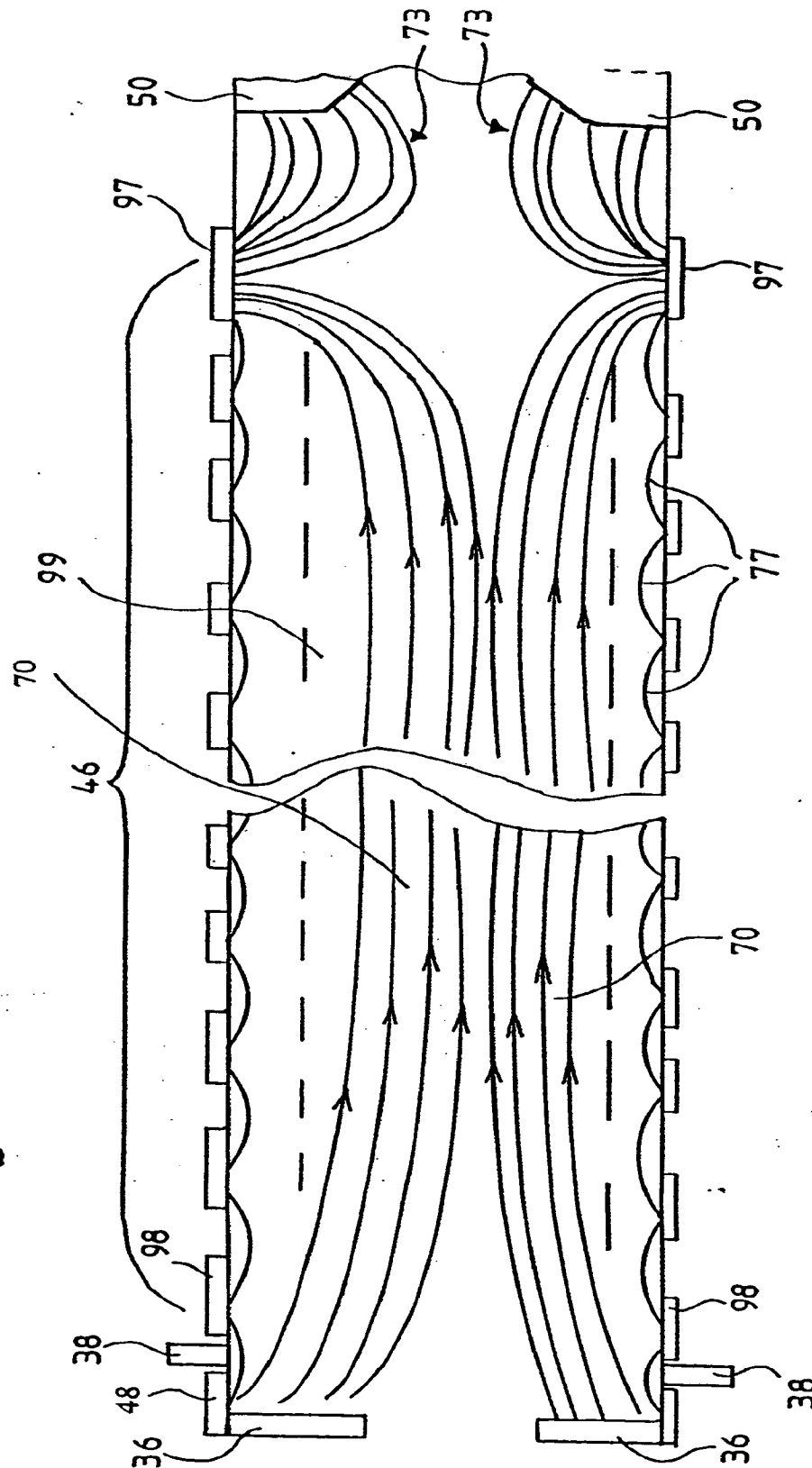


Fig. 4

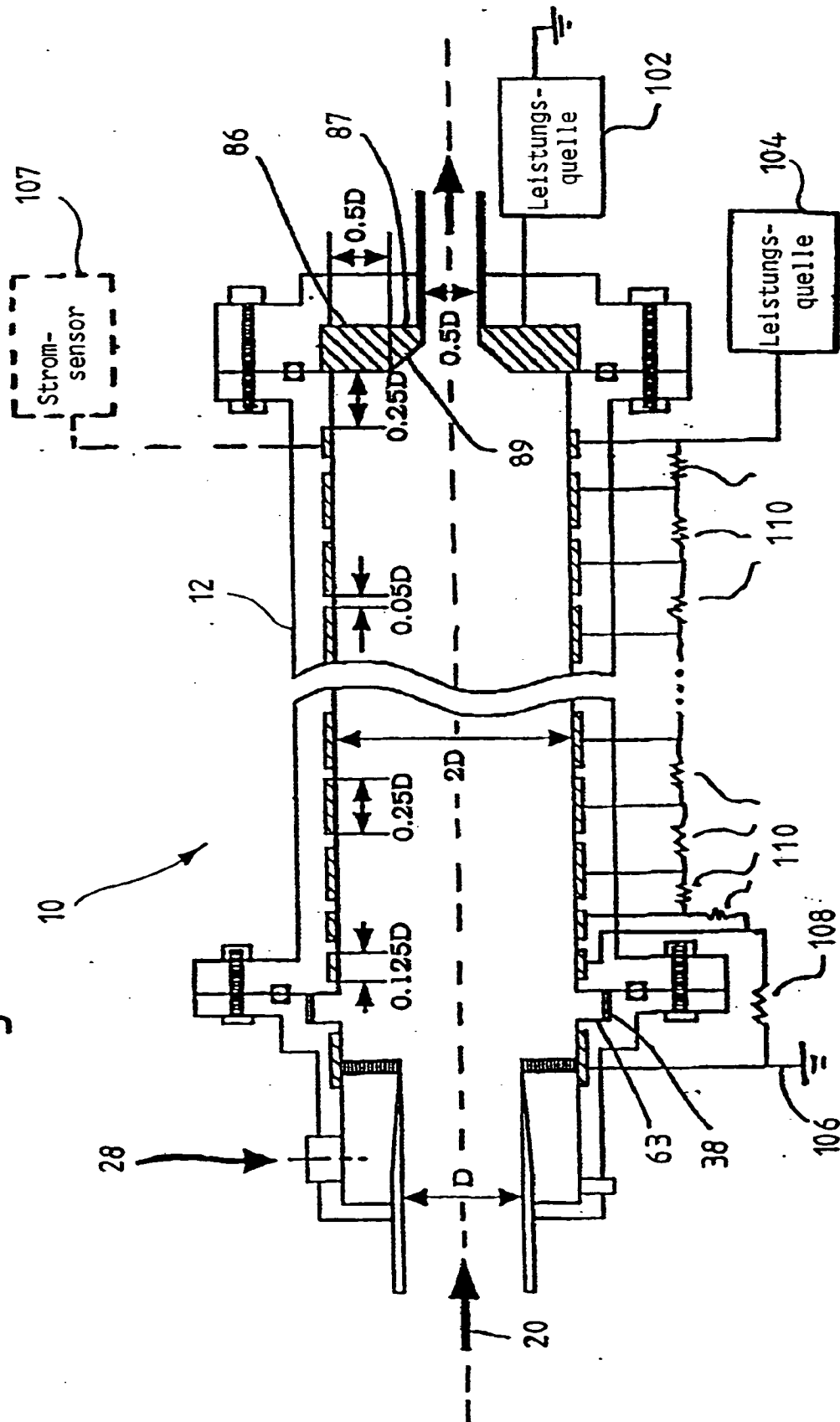


Fig. 5

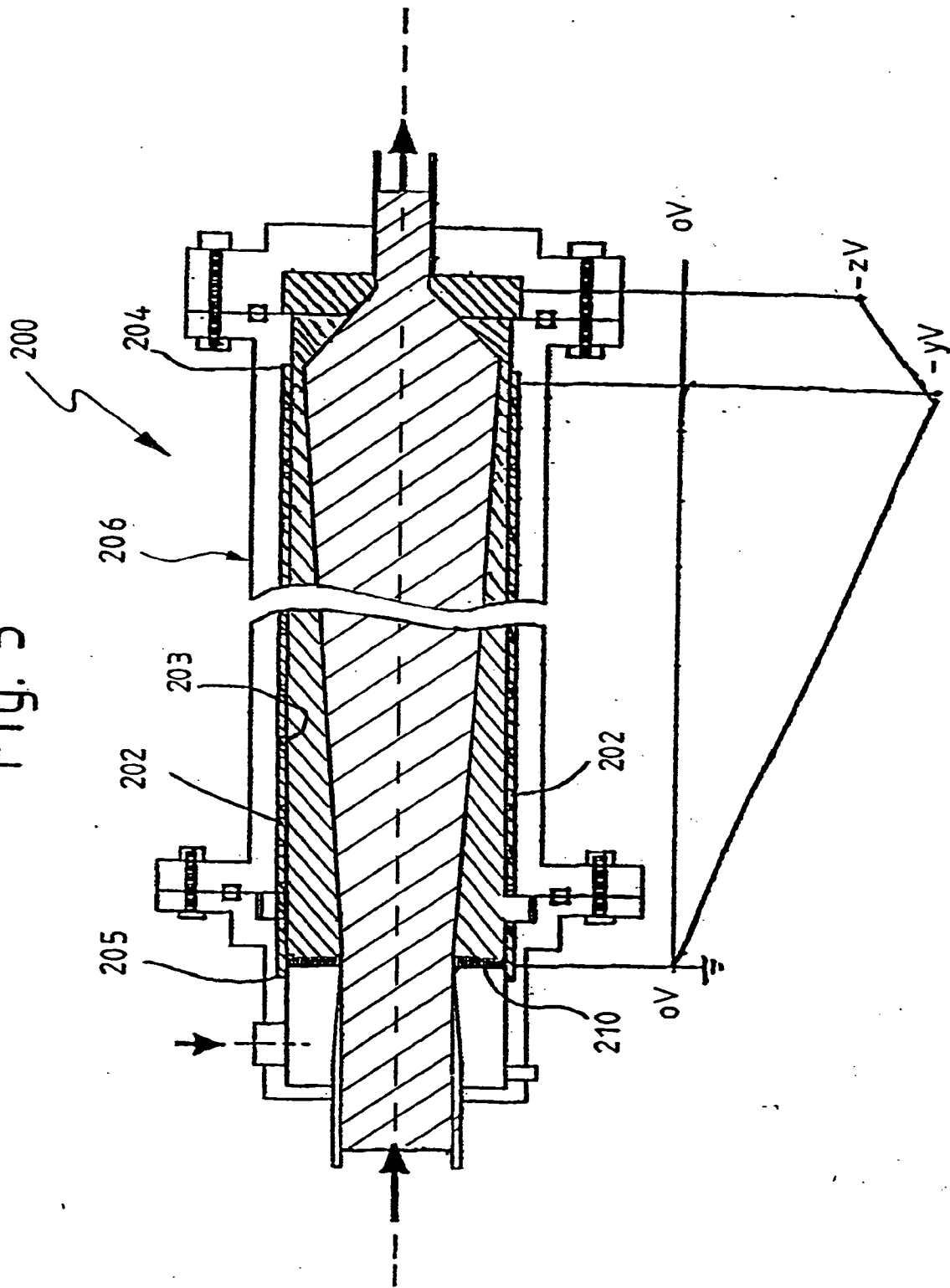


Fig. 6

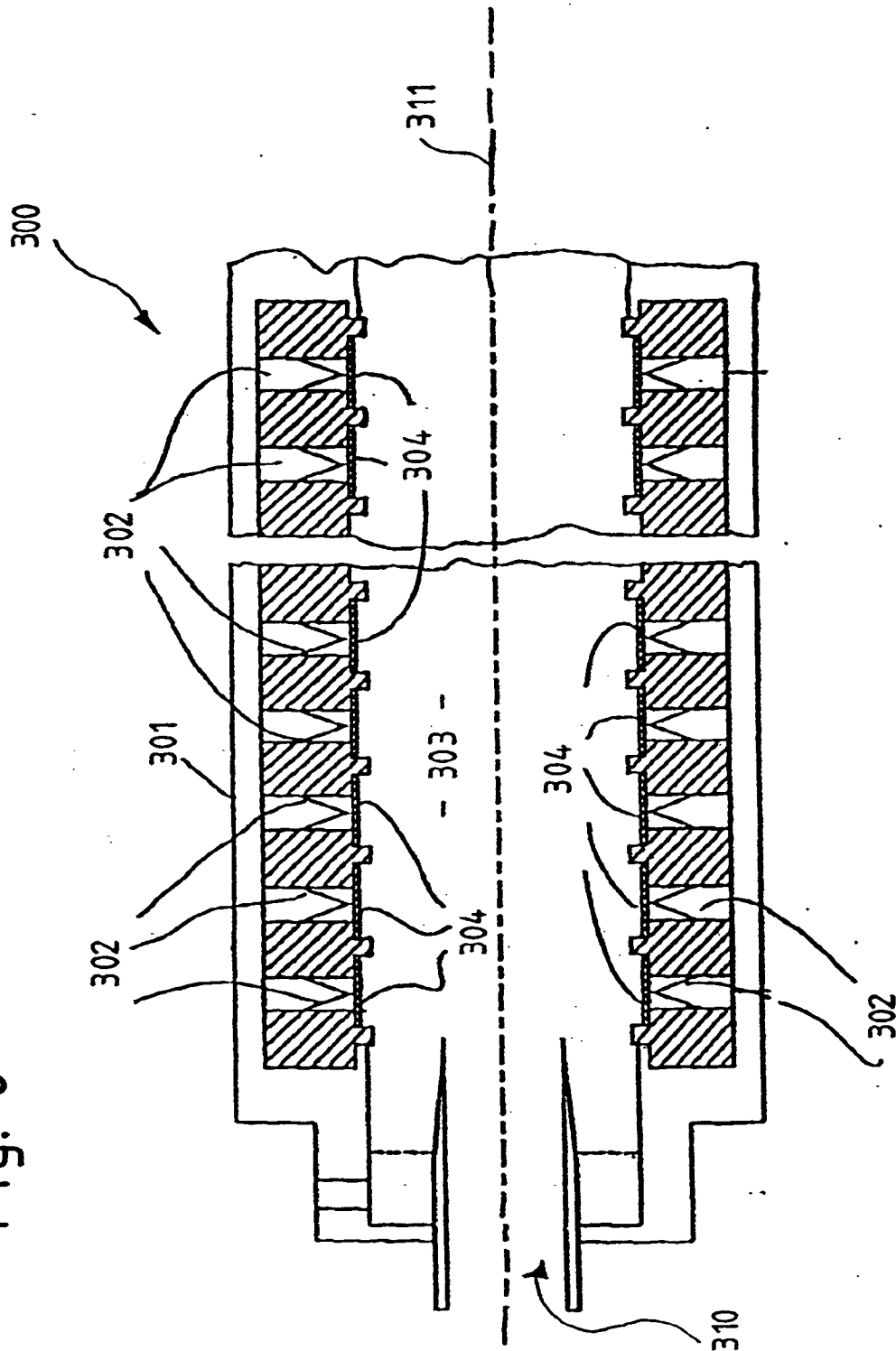


Fig. 7

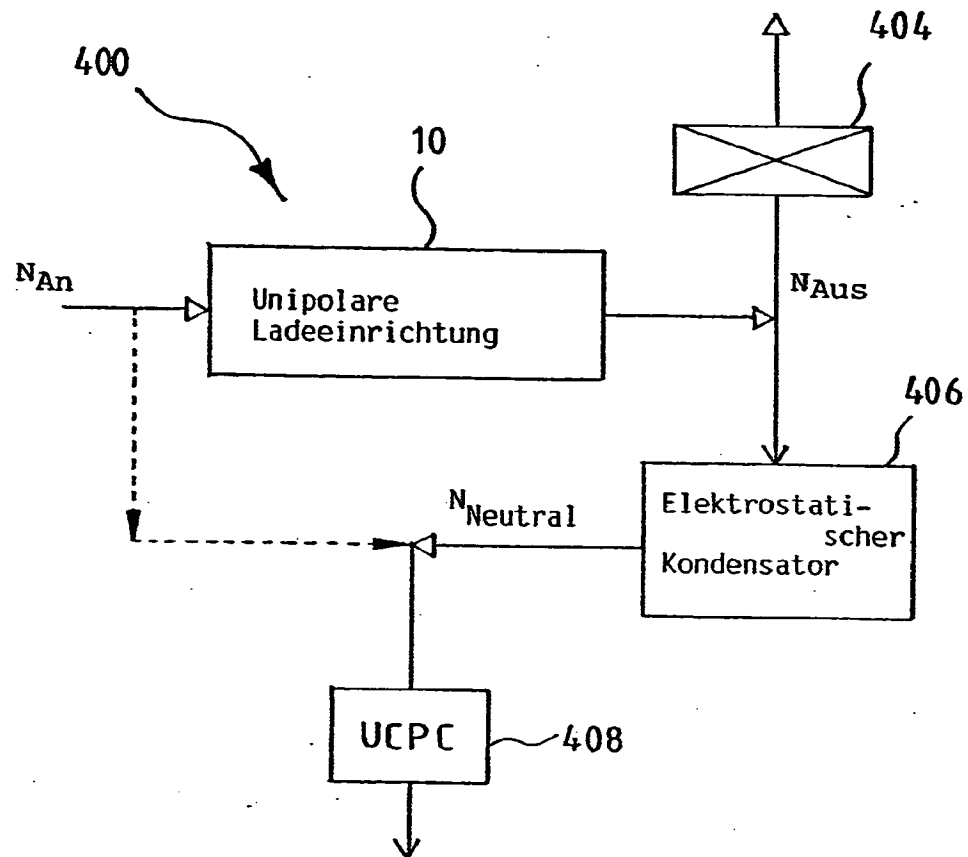


Fig. 8

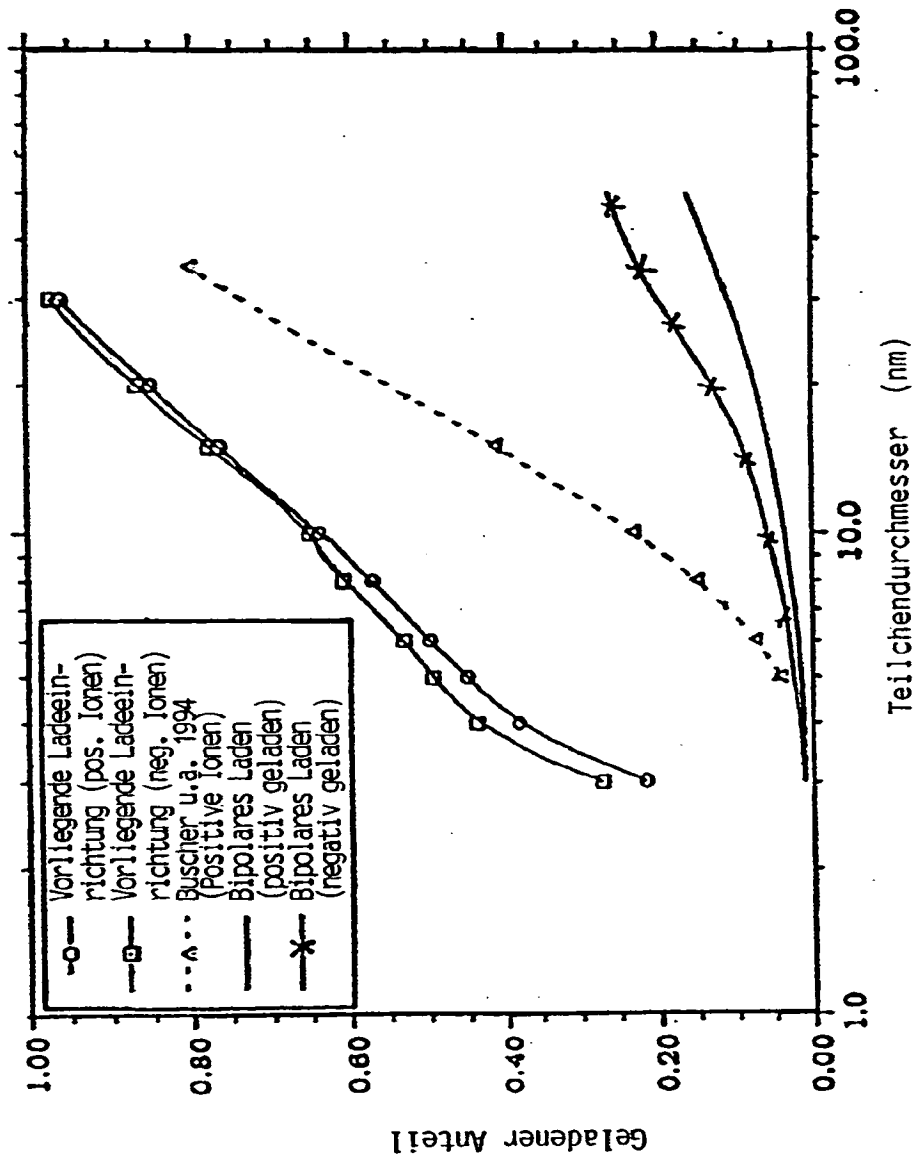


Fig. 1

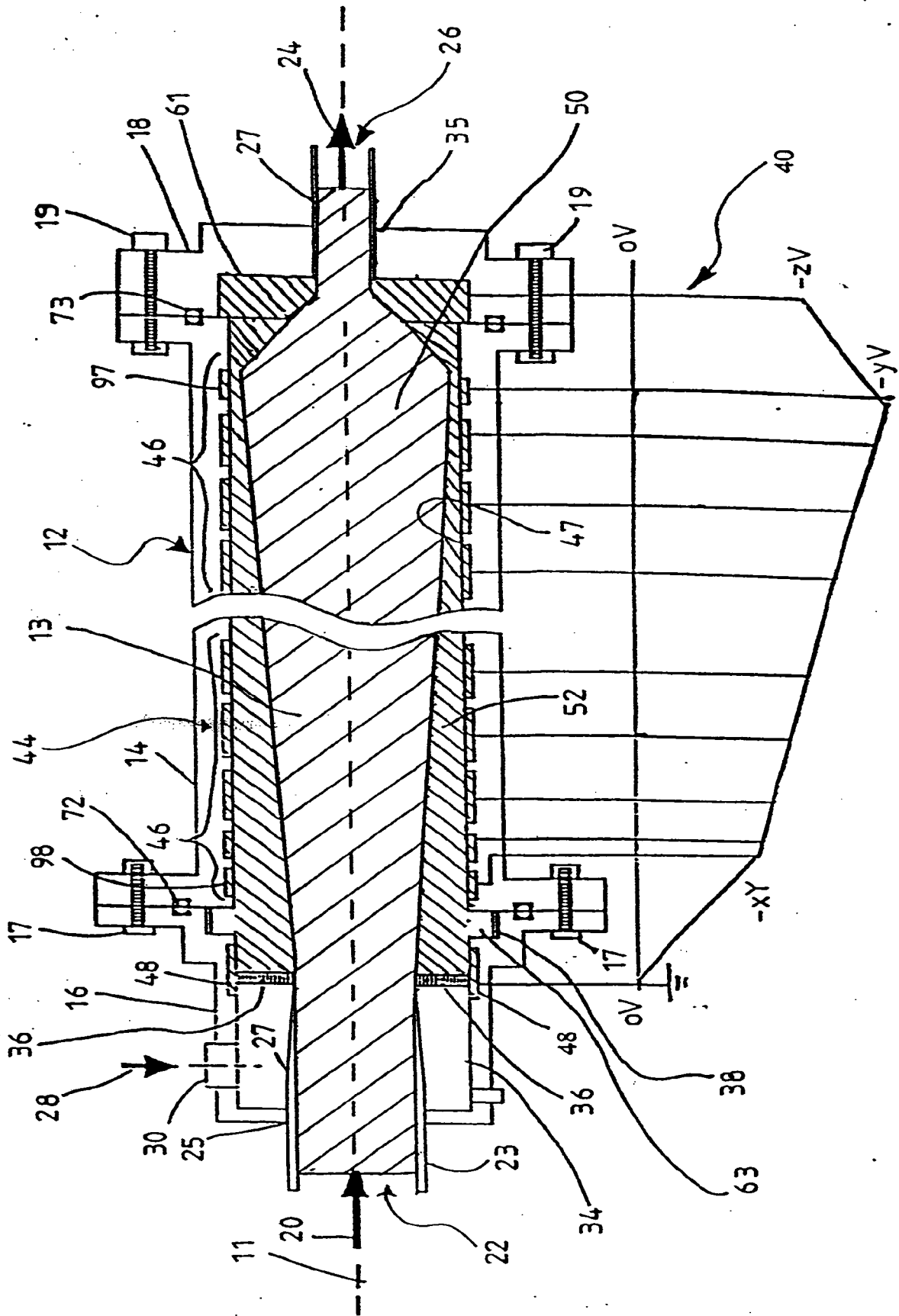
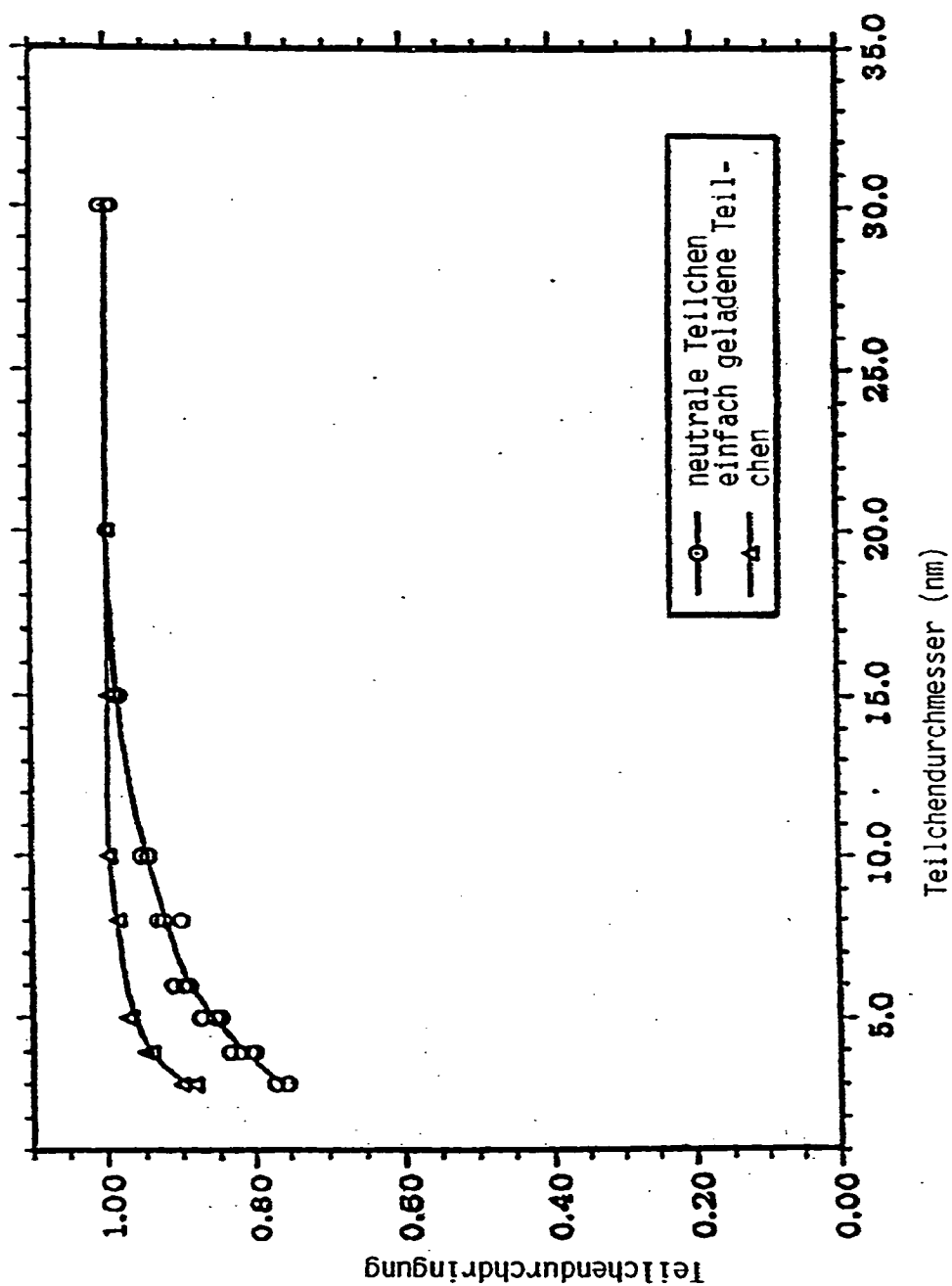


Fig. 9



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**